

DOI:10.13228/j.boyuan.issn0449-749x.20200321

连退机组焊机焊缝厚度预报模型及其影响因素

李学通^{1,2}, 翟乾俊¹, 姚利辉¹, 孙业选¹, 刘超智¹, 白振华^{1,2}

(1.燕山大学国家冷轧板带装备及工艺工程技术研究中心,河北 秦皇岛 066004;

2.燕山大学亚稳材料制备技术与科学国家重点实验室,河北 秦皇岛 066004)

摘 要:针对以往现场对焊接工艺的研究偏重于焊接电流、焊接热量的计算以及焊接原理的分析,而对焊缝厚度方面的研究则偏少,造成了焊缝质量控制不利的问题。在充分考虑了连退焊接机组的设备与工艺特点后,对焊缝厚度与搭接量、碾压轮压力、焊接电流、焊轮压力以及焊接速度等焊接工艺参数之间关系进行了分析,并建立了一套适合于连退焊接机组的焊缝厚度预报模型,给出了相应的模型特征参数计算方法。同时以某 1 550 连退焊机的典型规格产品为例,利用所建模型定量分析了焊缝厚度的影响因素,并将其应用到生产实践,取得了良好的使用效果,具有进一步推广应用的價值。

关键词: 焊缝厚度; 搭接量; 焊接电流; 焊轮压力; 焊接速度

文献标志码: A **文章编号:** 0449-749X(2021)04-0057-07

Prediction model of welding seam thickness and its influencing factors for welding machine with continuous annealing unit

LI Xue-tong^{1,2}, ZHAI Qian-jun¹, YAO Li-hui¹, SUN Ye-xuan¹,
LIU Chao-zhi¹, BAI Zhen-hua^{1,2}

(1. National Engineering Research Center for Equipment and Technology of CSR, Yanshan University, Qinhuangdao 066004, Hebei, China; 2. State Key Laboratory of Metastable Materials Science and Technology, Yanshan University, Qinhuangdao 066004, Hebei, China)

Abstract: In the past, the research on the welding process in the past focused on the calculation of welding current, welding heat, and the analysis of welding principles, while the research on the thickness of the weld was too little, which caused the problem of unfavorable quality control of the weld. After fully considering the equipment and process characteristics of the continuous retreat welding unit, the relationship between the welding seam thickness and the amount of overlap was analyzed, the pressure of the rolling wheel, the welding current, the pressure of the welding wheel, and the welding speed. A set of weld thickness prediction models suitable for continuous retreat welding units is established, and the corresponding model characteristic parameter calculation methods are given. At the same time, taking a typical product of a 1 550 continuous de-welding machine as an example, the influencing factors of weld thickness are quantitatively analyzed using the built model and applying it to production practice, which has achieved good results and has the value of further popularization and application.

Key words: weld thickness; lap; welding current; welding wheel pressure; welding speed

近年来,随着家电、汽车、航天等工业的快速发展,板带产品的需求也日益扩大。与此同时,在板带生产过程中,为了提高生产效率与产品质量的稳定性,焊接工艺得到了快速发展。在焊缝质量控制过程中,焊缝厚度作为重要的质量参数之一,焊缝厚度的大小不但对焊缝印等缺陷的抑制起着重要的作用,而且对通板稳定、断带的防治起着举足轻重的影响。这一直是现场技术人员关注的焦点。以往技术

人员对焊接工艺的研究主要集中在焊接电流、焊接热量以及焊接原理方面,比较典型的有张宝平^[1]、刘亚星^[2]等在研究了焊接过程熔核所需热量模型的基础上建立了焊接工艺及带钢质量综合优化控制技术;龚辉^[3]以 TMEIC 公司的窄搭接滚压焊机为研究对象分析了相关焊接原理及其焊机工艺参数的控制方法;徐朝军^[4]针对带钢焊缝在退火区域发生断带的问题从搭接量、上下焊轮的压力与位置等焊

基金项目: 中央引导地方科技发展资金资助项目(206Z1004G)

作者简介: 李学通(1976—),男,博士,副教授; **E-mail:** xtli@ysu.edu.cn; **收稿日期:** 2020-06-22

通讯作者: 白振华(1975—),男,博士,教授; **E-mail:** bai_zhenhua@aliyun.com

接工艺参数入手对焊接质量进行了分析。目前对连退带钢焊缝厚度的定量预报方面研究却鲜有报道。

为此,如何在考虑到连退机组焊接过程设备与工艺特点的基础上,通过建立相关数学模型而实现对焊缝厚度的定量预报以及影响因素的定量分析,最终指导现场生产实践、实现焊缝厚度的定量控制就成为现场技术攻关的难点与重点。

1 焊缝厚度预报模型的建立

在实际生产过程中,影响焊缝厚度的因素可以分成 3 类:(1)外部设备因素,主要指碾压轮的压力;(2)焊接工艺参数,主要包括焊接电流、焊轮压力、焊接速度;(3)带钢基本参数,主要是搭接量参数。本节将在简单分析上述因素对焊缝厚度影响的基础上建立相应的焊缝厚度预报模型,并给出相应的模型系数求解方法。

1.1 碾压轮压力与焊缝厚度的关系

在连退机组焊机前后卷带钢焊接过程中,碾压轮在投入使用时对焊缝的加工硬化起到关键作用,可以保证焊缝平整且能防止焊缝变厚。增大碾压轮压力能够使焊缝厚度减薄,但在低温塑性变形过程中,金属存在着加工硬化,变形抗力随变形程度的增加而增加。而变形抗力的增加使得焊缝减薄越来越困难,增大同样大小的碾压轮压力焊缝减薄得越来越小。因此,碾压轮的压力与焊缝厚度的变化为非线性关系,从而结合现场试验数据统计,最终通过数据回归得出碾压轮压力与焊缝厚度 H 的数学关系为

$$H = ae^{B_P \cdot P} \tag{1}$$

式中: a 为待求系数; B_P 为压力影响系数; P 为碾压轮压力,kN。

1.2 焊接工艺参数与焊缝厚度的关系

在焊接过程中,为了保证焊接的顺利进行,首先将大电流传到上焊轮,上焊轮再把产生的热量传到带钢,最后经过带钢再传到下焊轮,对前后钢卷的带钢进行加热、熔融,最后通过碾压轮平整完成焊接。根据参考文献[1-2],焊接热量的关系表达式可以用式(2)来表示。

$$Q = \alpha \left(\frac{Ce_1 + Ce_2}{2} \right)^\gamma I^2 \left[R_{w1} + \frac{K_c}{(1.02F)^m} + R_{w2} \right] \frac{(h_1 + h_2)^\beta}{v} \tag{2}$$

式中: Q 为焊接时产生的热量,J; I 为焊接电流,kA; v 为焊接速度,m/min; F 为焊轮压力,kN; m 为与接触形式有关的系数,在此取 1; h_1 为前行带钢

厚度,mm; h_2 为后行带钢厚度,mm; K_c 为与接触材料、表面情况、接触形式等有关的系数,在此取 $K_c = 0.2 \sim 0.3$; R_{w1} 、 R_{w2} 分别为前行带钢与后行带钢电阻, Ω ; α 为焊接热量系数; γ 为带钢焊接碳当量对有效热量的影响指数,取 $0.1 \sim 0.2$; Ce_1 为前行带钢焊接碳当量; Ce_2 为后行带钢焊接碳当量; β 为带钢厚度对焊接热量的影响指数,在此取 $0.25 \sim 0.35$ 。

如式(2)所示,改变焊接电流、焊接速度、焊轮压力的大小就可以改变焊接时产生的热量。焊接时,焊机提供的热量越多,焊缝的温度越高,变形抗力越弱,在碾压轮压力不变的情况下,焊缝的厚度会更薄。与此同时,在高温的情况下,因为相变过程,变形抗力值明显受到铁素体的影响,因此变形抗力与此时的温度的关系比较复杂,通常波动会出现在相变点附近。由于变形抗力随着温度的增加为非线性关系,同样的,碾压轮压力作用在焊缝上,所以焊缝厚度的变化与温度的关系也不是线性关系。为此,在大量的现场试验与理论研究的基础上,给出焊缝厚度 H 与焊接电流、焊接速度、焊轮压力之间关系的表达式,见式(3)。

$$H = be^{B_Q \cdot a} \left(\frac{Ce_1 + Ce_2}{2} \right)^\gamma I^2 \left[R_{w1} + \frac{K_c}{(1.02F)^m} + R_{w2} \right] \frac{(h_1 + h_2)^\beta}{v} \tag{3}$$

式中: b 为待求系数; B_Q 为热量影响系数。

1.3 搭接量与焊缝厚度的关系

在焊接过程中,搭接量的增大会使焊缝与碾压轮的接触面积增大,则焊缝受到的平均单位压力减小。假设焊缝受到的平均单位压力为 P_{av} ,则

$$P_{av} = \frac{P}{L \cdot B} \tag{4}$$

式中: L 为搭接量,mm; B 为带钢宽度,mm。

因为碾压轮压力 P 和带钢宽度 B 是不变的,故可以将 P/B 看作一常数。

在其他条件不变的情况下,焊缝受到的平均单位压力 P_{av} 越小,则焊缝厚度越大。由图 1 可知,平均单位压力 P_{av} 随着搭接量 L 的增大越来越小,但减小的幅度也越来越小,则可知焊缝厚度 H 随着搭接量 L 的增大将越来越大,但增大的幅度越来越小,最后焊缝厚度 H 不变。搭接量 L 与平均单位压力 P_{av} 及焊缝厚度 H 关系示意图如图 1 所示。

搭接量 L 增大时并不仅仅导致平均单位压力 P_{av} 减小,还会因热量供应的不足增大焊缝的变形抗力,而变形抗力与温度的关系比较复杂,通常波动会出现在相变点附近。因此,变形抗力的增大并不会改变焊缝厚度 H 与搭接量 L 之间的非线性关系。

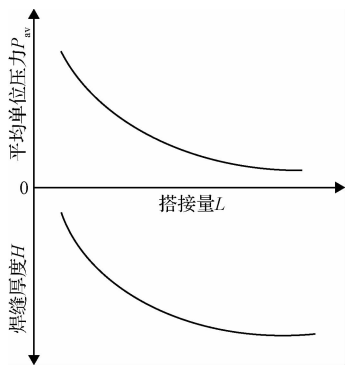


图 1 搭接量与平均单位压力及焊缝厚度关系示意图
Fig.1 Schematic diagram of relationship between lap joint quantity and average unit pressure and weld thickness

基于此,在大量的现场试验跟踪与理论研究的基础上,可以采用式(5)所示函数来表示焊缝厚度 H 与搭接量 L 的关系。

$$H = ce^{B_L \cdot L} \tag{5}$$

式中: c 为待求系数; B_L 为搭接量影响系数。

1.4 焊缝厚度预报模型的建立

在 1.1~1.3 节相关研究的基础上,考虑到焊缝厚度与碾压轮压力、焊接电流、焊接速度、焊轮压力以及搭接量之间的关系,最终建立焊缝厚度预报模型,见式(6)。

$$H = ae^{B_P \cdot P} + be^{B_Q \cdot a} \left(\frac{C_{e1} + C_{e2}}{2} \right)^{\gamma} I^2 \left[R_{w1} + \frac{K_c}{(1.02F)^m} + R_{w2} \right]^{\frac{(h_1 + h_2)\beta}{v}} + ce^{B_L \cdot L} \tag{6}$$

1.5 焊缝厚度预报模型中关键系数的求解

在式(6)中,求出 a, b, c, B_P, B_Q 和 B_L 这 6 个未知数,焊缝厚度预报数学模型就可以求得。理论上说,只要能找出 3 组包含焊缝厚度 H 、碾压轮压力 P 、焊接电流 I 、焊接速度 v 、焊轮压力 F 和搭接量 L 的数据,联立方程求解系数,便能求出焊缝预报模型的各个系数。但是由于随机找的 6 组数据具有随机性,不具有普遍性,会使计算的结果误差很大,准确性较低。因此,为了使模型具有普遍性,更加准确地反映焊缝厚度的大小,科学的计算方法就是选择 $m \times n \times o$ 个样本,即

$$\{H_{hij}, P_{hij}, F_{hij}, v_{hij}, I_{hij}, L_{hij}, h = 1, 2 \cdots m; i = 1, 2 \cdots n; j = 1, 2 \cdots o\} \tag{7}$$

只要 m, n 和 o 都足够大,在合理使用了所有的样本数据后就可使得式(6)能够尽量满足所有数据,采用的方法如下。

首先根据样本焊缝厚度和焊缝计算出的值联合

起来,构造控制函数 $G_{hij}(X)$ 为

$$G_{hij}(X) = |h_{hij} - H(X)| \tag{8}$$
$$X = \{B_P, B_Q, B_L, a, b, c\}$$

式中: h_{hij} 为样本焊缝厚度,mm; $H(X)$ 为焊缝计算厚度,mm。

然后,构造式(8)所示相应的目标函数式。

$$F(X) = \sum_{h=1}^m \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^o G_{hij}(X) \tag{9}$$

根据所学的数学相关知识可知, $F(X)$ 函数值越小,这表明能够满足的样本越多、样本空间越大,进而 $m \times n \times o$ 个样本更能被全部满足。于是,焊缝厚度关键系数的求解使得目标函数 $F(X)$ 最小,求出系数的解即 $X = \{B_P, B_Q, B_L, a, b, c\}$ 的值,采用 powell 优化方法就可以得到相应的结果,具体求解流程如图 2 所示。

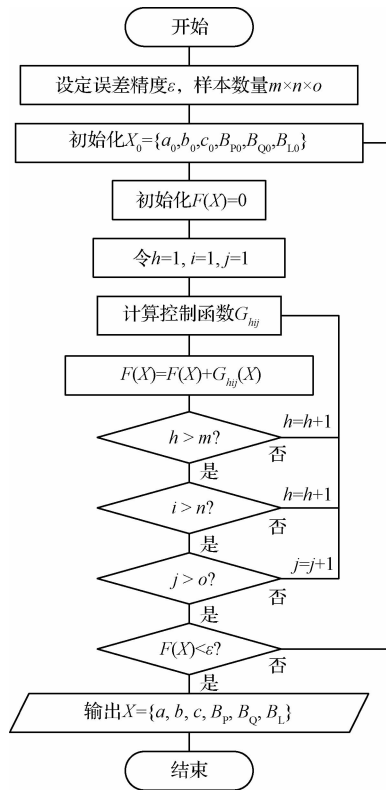


图 2 焊缝厚度关键系数求解流程图
Fig.2 Flow chart for solving key coefficient of weld thickness

2 焊缝厚度影响因素的研究

综合式(1)~式(6)可知,从焊缝厚度控制的角度来说,影响焊缝厚度的因素可以进一步细化到搭接量、焊接电流、焊接速度、焊轮压力、碾压轮压力等影响因素,从而可以将式(6)用式(10)来表示。

$$H = f(L,P,I,v,F) \tag{10}$$

为了定量分析搭接量、焊接电流、焊接速度、焊轮压力、碾压轮压力等因素对焊缝厚度的影响,特以某钢铁企业 1 550 连退焊接机组生产的 3 种典型带钢为例进行数据分析。

2.1 搭接量对焊缝厚度的影响

根据文献[1-2]可知,改变搭接量相当于改变带钢电阻的大小,进而对焊接热量产生影响,最终影响

焊缝厚度的大小。为定量研究搭接量对焊缝厚度的影响,选择典型规格带钢 CQ、340BH、DQ-AL 为例,采用控制变量,每一种带钢采用搭接量依次增大,其余焊接参数保持不变。焊接工艺参数见表 1。获得焊缝后计算焊缝厚度,并整理好计算数据做出分析曲线,结果如图 3 所示。由图 3 中的曲线数据变化分布可知,这 3 种钢种的焊缝厚度随着搭接量的增大而增大。

表 1 焊接过程的主要参数

Table 1 Main parameters of welding process

带钢规格	前行卷厚度/mm	后行卷厚度/mm	焊接电流/kA	焊轮压力/kN	焊接速度/(m·min ⁻¹)	碾压轮压力/kN	搭接量/mm
CQ	0.404	0.404	11	6.5	14	1	0.7~1.2
340BH	0.658	0.658	13	10	14	2	0.7~1.2
DQ-AL	1.212	1.212	18	13	11	2	0.7~1.2

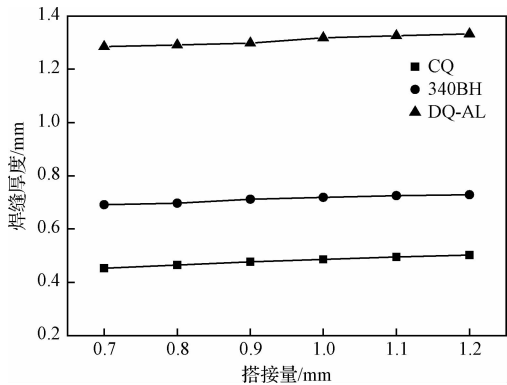


图 3 搭接量对焊缝厚度的影响

Fig.3 Impact of overlap amount on weld thickness

2.2 焊接电流对焊缝厚度的影响

焊接电流对有效热量的影响呈指数关系。焊接电流越大,焊接有效热量则越大,焊接时,焊机提供的热量越多,焊缝的温度越高,变形抗力越弱,在碾压轮压力不变的情况下,焊缝的厚度会更薄。研究焊接电流对焊缝厚度的影响规律所采用的焊接工艺参数见表 2。获得焊缝后计算焊缝厚度,并整理好数据做出分析曲线,结果如图 4 所示。根据图 4 数据曲线变化分析可得,这 3 种钢种的焊缝厚度随着焊接电流的增大而减小。

2.3 焊轮压力对焊缝厚度的影响

焊轮压力的变化将改变前后带钢、带钢与电极

表 2 焊接过程的主要参数

Table 2 Main parameters of welding process

带钢规格	前行卷厚度/mm	后行卷厚度/mm	焊接电流/kA	焊轮压力/kN	焊接速度/(m·min ⁻¹)	碾压轮压力/kN	搭接量/mm
CQ	0.404	0.404	10.5~13	6.5	14	1	1.2
340BH	0.658	0.658	10.5~13	10	14	2	1.0
DQ-AL	0.505	0.505	10.5~13	7	15	2	1.1

间的接触面积,也会影响电流线的分布,进而使得焊接电流与焊接电阻产生变化影响焊缝厚度。焊轮压力增大使金属的弹性和塑性变形增加,对压平接触表面的凹凸不平破坏不良导体膜均有利,其结果使接触电阻减小,电流增大。一开始随着焊轮压力的增大焊接电阻减小得较大而焊接电流增大得不明显,导致焊接有效热量减小,焊缝厚度变厚;当焊轮压力达到某个值后,随着焊轮压力的增大焊接电阻

减小,而焊接电流增大得很大,很小的电阻都会经过 I^2 放大,导致焊接有效热量增加,焊缝厚度变薄。研究焊轮压力对焊缝厚度的影响所采用的焊接工艺参数见表 3,每一种带钢采用焊轮压力依次增大,其余焊接参数保持不变。获得焊缝后计算焊缝厚度,并整理好数据做出分析曲线,结果如图 5 所示。由图 5 曲线变化可以看出,这 3 种钢种的焊缝厚度随着焊轮压力的增大呈现先增大后减小的非线性关系。

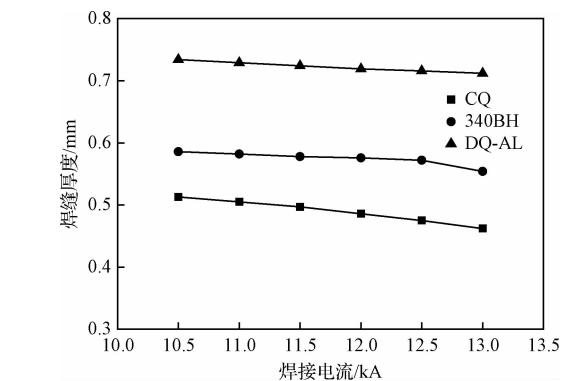


图 4 焊接电流对焊缝厚度的影响

Fig. 4 Influence of welding current on weld thickness

2.4 焊接速度对焊缝厚度的影响

焊接速度越慢,焊接的时间就越长,则焊机产生的热量越大,在其他条件不变的情况下,焊缝厚度越薄;反之,则越厚。研究焊接速度对焊缝厚度的影响所采用的焊接工艺参数见表 4。获得焊缝后测量焊缝厚度,并整理好数据做出分析曲线,结果如图 6 所示。由图 6 数据变化可看出,这 3 种钢种焊缝厚度均随着焊接速度的增大而增大,即基本线性分布。

2.5 碾压轮压力对焊缝厚度的影响

碾压轮主要用于对焊缝进行加工硬化,使焊缝

表 3 焊接过程的主要参数

Table 3 Main parameters of welding process

带钢规格	前行卷厚度/mm	后行卷厚度/mm	焊接电流/kA	焊轮压力/kN	焊接速度/(m·min ⁻¹)	碾压轮压力/kN	搭接量/mm
CQ	0.505	0.505	13	8.5~11	15	1	1.1
340BH	0.658	0.658	13	8.5~11	14	2	1.0
DQ-AL	0.707	0.707	14	8.5~11	15	2	1.0

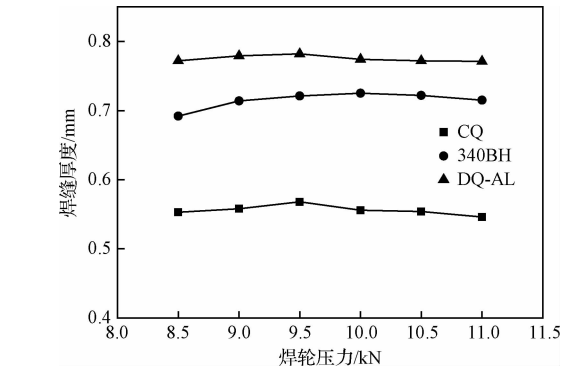


图 5 焊轮压力对焊缝厚度的影响

Fig. 5 Influence of pressure of welding wheel on weld thickness

平整并减小焊缝增厚,增大碾压轮压力能够显著降低焊缝厚度。研究碾压轮压力对焊缝厚度的影响,仍选择典型规格带钢 CQ、340BH、DQ-AL,其焊接工艺参数见表 5,每一种带钢采用碾压轮压力依次增大,其余焊接参数保持不变。获得焊缝后计算焊缝厚度,并对数据进行整理绘制出分析曲线,结果如图 7 所示。通过图 7 数据分析,焊缝厚度与碾压轮压力基本呈线性关系,即焊缝厚度随着碾压轮压力的增大而减小。

3 现场的应用

焊缝厚度是判断焊缝质量好坏与否的条件之

表 4 焊接过程的主要参数

Table 4 Main parameters of welding process

带钢规格	前行卷厚度/mm	后行卷厚度/mm	焊接电流/kA	焊轮压力/kN	焊接速度/(m·min ⁻¹)	碾压轮压力/kN	搭接量/mm
CQ	0.404	0.404	11	6.5	11~16	1	1.2
340BH	0.658	0.658	13	10	11~16	2	1.0
DQ-AL	1.212	1.212	18	13	11~16	2	1.0

一。焊缝厚度过小将导致焊缝强度不够,从而导致断带。如果焊接后的焊缝厚度超过规定的标准,焊缝质量同样为不合格。特以某钢厂 1 550 连退焊接机组为例预测焊缝厚度,利用本文所建焊缝厚度预报模型对焊缝厚度进行预报,结果见表 6。

由表 6 可以看出,采用本模型之后焊缝厚度得到了准确的预报,很好地监控了焊缝厚度的大小,提高了焊缝厚度检测的效率,从而保证了很好的焊缝质量,能够满足工程上的精度要求,具有进一步推广使用的价值。

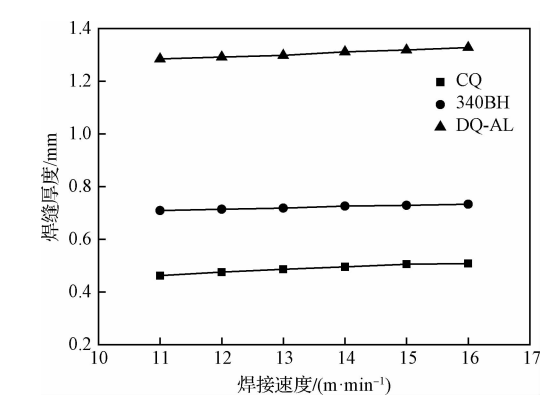


图 6 焊接速度对焊缝厚度的影响

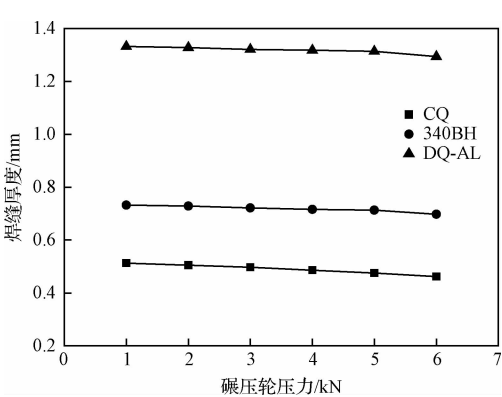


图 7 碾压轮压力对焊缝厚度的影响

Fig. 6 Influence of welding speed on weld thickness

Fig. 7 Influence of roller pressure on weld thickness

表 5 焊接过程的主要参数

Table 5 Main parameters of welding process

带钢规格	前行卷厚度/mm	后行卷厚度/mm	焊接电流/kA	焊轮压力/kN	焊接速度/(m·min ⁻¹)	碾压轮压力/kN	搭接量/mm
CQ	0.404	0.404	11	6.5	14	1~6	1.2
340BH	0.658	0.658	13	10	14	1~6	1.0
DQ-AL	1.212	1.212	18	13	11	1~6	1.0

表 6 1 550 连退焊接机组典型规格产品

焊缝厚度预报值和实际值误差分析

Table 6 Error analysis of prediction value and actual value of welding seam thickness of typical specification products of 1 550 continuous back welding unit

项目	规格号			
	1	2	3	4
带材厚度/mm	0.405	0.658	1.212	1.517
搭接量/mm	1.2	1	1	1
焊接电流/kA	11	13	18	19
焊轮压力/kN	6.5	10	13	19
焊接速度/(m·min ⁻¹)	14	14	11	8
碾压轮压力/kN	1	2	2	2
焊缝厚度预报总次数	365	343	387	432
焊缝厚度预报准确次数	334	326	355	401
误差/%	8.5	5	8.3	7.2

4 结论

(1)在大量的现场试验跟踪与理论研究的基础上,充分考虑到连退焊接机组的设备与工艺特点,建立了一套焊缝厚度预报模型,开发了一套焊缝厚度预报软件。

(2)根据焊缝厚度预报模型得出,焊缝厚度随着搭接量的增大而增大,随着焊接电流的增大而减小,随着焊轮压力的增大先增大后减小,随着焊接速度的增大而增大,随着碾压轮压力的增大而减小。

参考文献:

[1] 张宝平,袁文振,周莲莲,等. 连退机组搭接焊工艺数模与焊缝质量控制技术[J]. 中国冶金,2017,27(7):29. (ZHANG Bao-ping,YUAN Wen-zhen,ZHOU Lian-lian,et al. Digital modeling and weld quality control technology for lap welding process of tandem regenerator[J]. China Metallurgy,2017,27(7):29.)

[2] 刘亚星. 连退机组关键工艺模型及带钢质量综合控制技术研究[D]. 秦皇岛:燕山大学,2017. (LIU Ya-xing. Research on Key Process Model and Strip Quality Comprehensive Control Technology of Continuous Return Unit[D]. Qinhuangdao:Yanshan University,2017.)

[3] 龚辉. 镀铬机组 TEMIC 窄搭接焊机及其控制技术[J]. 自动化技术与应用,2012,31(8):67. (GONG Hui. TEMIC narrow lap welding machine and its control technology for chromeplating unit[J]. Automation Technology and Application,2012,31(8):67.)

[4] 徐朝军. 提高带钢焊接质量的实践[J]. 安徽冶金,2014(3):54. (XU Chao-jun. Practice of improving welding quality of strip steel[J]. Anhui Metallurgy,2014(3):54.)

[5] 朱爱辉,吕爽,刘明炜. 窄搭接电阻焊机在连续退火机组上的成功应用[J]. 热处理技术与装备,2013,34(2):58. (ZHU Ai-hui,LÜ Shuang,LIU Ming-wei. Successful application of narrow lap resistance welder in continuous annealing unit[J]. Heat Treatment Technology and Equipment,2013,34(2):58.)

[6] 易金权,曾凯,邢保英,等. SPCC 冷轧钢胶焊连接工艺研究及数值模拟[J]. 钢铁,2019,54(7):93. (YI Jin-quan,ZENG Kai,XING Bao-ying,et al. Research and numerical simulation

on the bonding process of SPCC cold rolling steel[J]. Steel and Iron,2019,54(7):93.)

[7] 江浩杰,肖至勇. 五机架冷连轧机动态变规格控制技术的分析与优化[J]. 冶金自动化,2013,37(3):53. (JIANG Hao-jie, XIAO Zhi-yong. Analysis and optimization of dynamic specification control technology for five-stand tandem cold mill[J]. Metallurgical Automation,2013,37(3):53.)

[8] 赵凯星,于世川. 窄缝搭接焊机的焊接电流控制技术[J]. 金属世界,2007(4):58. (ZHAO Kai-xing, YU Shi-chuan. Welding current control technology of narrow seam lap welding machine[J]. Metal World,2007(4):58.)

[9] 刘宁. 窄缝搭接焊机焊接电流控制技术及其实现[J]. 电工技术,2010(9):53. (LIU Ning. Research and realization of welding current control technology of narrow seam lap welding machine[J]. Electrotechnics,2010(9):53.)

[10] 韩毅,肖瑶,闵祥玲,等. 焊接钢管高频感应加热的残余应力和组织演变[J]. 钢铁,2019,54(11):130. (HAN Yi, XIAO Yao, MIN Xiang-ling, et al. Residual stress and microstructure evolution of high frequency induction heating of welded steel pipe[J]. Steel and Iron,2019,54(11):130.)

[11] 康建华. 影响窄搭接焊机焊接质量的因素分析与研究[J]. 中国金属通报,2019(4):154. (KANG Jian-hua. Analysis and research on factors affecting welding quality of narrow lap welding machine[J]. China Metal Bulletin, 2019 (4): 154.)

[12] Fuji H, Sato T, Lu S, et al. Development of an advanced A-TIG (A-TIG) welding method by control of marangoni convection[J]. Materials Science and Engineering: A, 2008, 495 (1/2):296.

[13] 陈大华,杨军. Miebach 搭接焊机及其控制[J]. 冶金自动化, 2000(1):39. (CHEN Da-hua, YANG Jun. Miebach lap welding machine and its control[J]. Metallurgical Automation, 2000(1):39.)

[14] 白振华,徐纪栓,赵圳,等. 镀锡板连退平整过程焊缝印形成机理及其预测模型[J]. 塑性工程学报,2019,26(5):232. (BAI Zhen-hua, XU Ji-shuan, ZHAO Zhen, et al. Formation mechanism and prediction model of weld seal during continuous retreat leveling of tinplate[J]. Journal of Plastic Engineering, 2019, 26(5):232.)

[15] 熊钰梅. 攀钢热轧典型钢种中温区变形抗力研究[J]. 四川冶金,2008(2):30. (XIONG Yu-mei. Study on deformation resistance in medium temperature zone of typical hot rolled steel [J]. Sichuan Metallurgy, 2008(2):30.)

[16] 韩毅,肖瑶,张麋茵,等. 电阻焊接钢管电磁加热过程隐性缺陷[J]. 钢铁,2020,55(1):108. (HAN Yi, XIAO Yao, ZHANG Ao-yin, et al. Latent defects in electromagnetic heating process of resistance welded steel tubes[J]. Iron and Steel, 2020, 55(1):108.)



《连铸》2021 年“连铸工艺与新技术”专刊
征稿通知

为了总结我国钢铁冶金生产中连铸工艺的关键共性技术和取得的创新突破成果,推动连铸工艺科研成果转化和新技术应用,加快连铸工艺新成果、新技术的开发和推广,《连铸》编辑部于 2021—2022 年策划出版“连铸保护渣”、“连铸工艺与新技术”、“结晶器冶金技术与装备”、“连铸坯质量与夹杂物控制”、“中间包冶金技术与钢液净化”、“连铸电磁冶金技术与装备”、“连铸智能化技术与装备”等七大专刊。

特邀请大连理工大学王旭东教授和东北大学祭程教授为七大专刊中“连铸工艺与新技术”专刊责任主编,组织“连铸工艺与新技术”专刊论文并积极推广专刊中的技术,以期对从事相关工作的科研和技术人员起到学习和借鉴的作用。

1 征稿范围

从事“连铸坯质量与夹杂物控制”研究的全国冶金院校、科研院所和相关企业。基金类文章和产学研用结合类文章优先录用。

2 征文内容

- (1)高拉速连铸工艺与装备技术
- (2)冷却、电磁、压下等连铸过程外场调控技术
- (3)高附加值钢铁产品连铸化生产技术
- (4)近终形连铸等短流程技术
- (5)连铸生产流程的数字化、智能化及大数据技术
- (6)满足连铸工艺的连铸设备维护及设备精度控制、管理技术
- (7)其他连铸及相关领域新技术等

3 投稿方式

请登录“钢铁期刊网”网站(<http://www.chinamet.cn>), 点击“连铸”图标或刊名导航条进入期刊首页,从“作者投稿系统”进入系统进行投稿。

4 注意事项

- (1)投稿截止时间:2021 年 5 月 31 日。
- (2)论文投稿前需经过单位保密审查;本刊坚决拒绝一稿多投。
- (3)投稿时请务必在论文标题后标注“(2021 连铸工艺与新技术专刊)”,并上传版权协议。
- (4)论文投稿后,需通过编辑部的审稿流程。若未通过审稿,将作退稿处理。
- (5)论文通过审稿后,将发表在《连铸》杂志 2021 年第 4 期(8 月)正刊上。

5 联系方式

大连理工大学
王旭东,电话:13898490606;E-mail:hlr@dlut.edu.cn
东北大学
祭程,电话:13898812341;E-mail:jic@smm.neu.edu.cn
《连铸》编辑部 电话:010-62183313
张亚然,电话:13520700491
E-mail:m13520700491@163.com
尚海霞,电话:18610027273
E-mail:shanghaixia123@126.com